

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-36994

(43) 公開日 平成 6 年 (1994) 2 月 10 日

(51) Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 2 B 5/18		9018-2K		
G 0 3 F 7/20	5 0 4	9122-2H		
		8831-4M	H 0 1 L 21/30	3 4 1 J

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 9 頁)

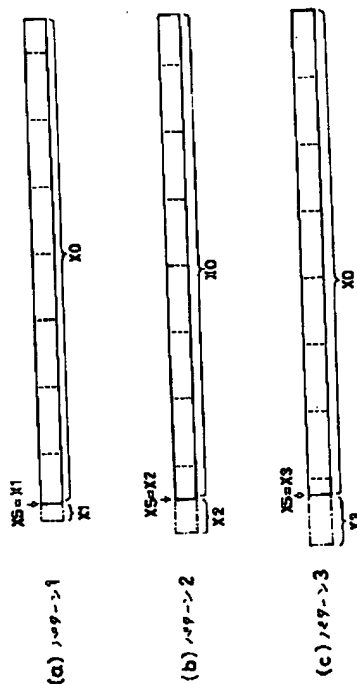
(21) 出願番号	特願平4-209541	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町一丁目1番6号
(22) 出願日	平成 4 年 (1992) 7 月 15 日	(72) 発明者	玉村 敏昭 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	西田 敏夫 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日 本電信電話株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 山川 政樹

(54) 【発明の名称】 回折格子作製方法

(57) 【要約】

【目的】 回折格子パターンのピッチの均一性の向上を図り、高精度の回折格子を得る。

【構成】 全体の回折格子パターンの大きさは一定とし、描画位置座標データの開始座標XSをパターン1、パターン2、パターン3でX1、X2、X3と変化させ、同時に、電子ビーム露光データへの変換時のチップサイズを、回折格子パターンの設計長X0にそれぞれX1、X2、X3を加えた値とする。これら3種の回折格子描画パターンデータにより、同じステージ座標で（ステージ移動のない状態で）、重ねて露光を行う。これにより、全く同じ位置に、主偏向器のDAコンバータの高次のピットの切り替え位置が変えられて、回折格子パターンが形成される。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 デジタル・アナログ変換器を用いた主偏向器により描画フィールド内の位置座標を指定して電子ビームを露光し回折格子パターンを形成する回折格子作製方法において、

異なる描画位置座標データを有し実質的に同一のパターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行って回折格子パターンを形成するようにしたことを特徴とする回折格子作製方法。

【請求項2】 デジタル・アナログ変換器を用いた主偏向器と副偏向器とを備え、前記主偏向器により描画フィールド内の位置座標を指定し、前記描画フィールド内を前記副偏向器の走査範囲内で分割して、電子ビームを露光し、回折格子パターンを形成する回折格子作製方法において、

異なる副偏向器走査範囲を有し実質的に同一のパターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行って回折格子パターンを形成するようにしたことを特徴とする回折格子作製方法。

【請求項3】 デジタル・アナログ変換器を用いた主偏向器と副偏向器とを備え、前記主偏向器により描画フィールド内の位置座標を指定し、前記描画フィールド内を前記副偏向器の走査範囲内で分割して、電子ビームを露光し、回折格子パターンを形成する回折格子作製方法において、

異なる描画位置座標データおよび異なる副偏向器走査範囲を有し実質的に同一のパターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行って回折格子パターンを形成するようにしたことを特徴とする回折格子作製方法。

【請求項4】 請求項2又は3において、各回折格子描画パターンデータは、回折格子パターンの書き始めと書き終わりの部分を除いて、副偏向器走査範囲の境界を共有することがないことを特徴とする回折格子作製方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、電子ビーム技術により回折格子を作製する回折格子作製方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 回折格子は、分布帰還型半導体レーザ（DFB-LD）、分布反射型半導体レーザ（DBR-LD）等の単一モード発振を可能とする半導体レーザや、グレーティングカップラ、分波器等の受動光素子に重要な構造である。従来、回折格子の作製には、そのピッチの制御性と大面積露光が可能な点から、紫外線を光源とする2光束干渉露光法が主に使用されてきた。しか

2

しながら、この方法では、使用できるレジストの膜厚が50nm程度と薄いため、ドライエッチング等の技術で深い回折格子を形成することが困難であり、また、複数のピッチを同一基板上に形成することが煩雑である等の問題点があった。

【0003】 一方、電子ビーム露光技術は、解像度が高く、任意のパターンを形成できるため、ホトマスクや、種々のデバイス加工に使用されている。特に、電子ビームを微細径に収束すると、0.1μm以下の微細パターンを容易に形成できる。また、電子ビーム露光では、レジスト膜厚を大きくできること、複数のピッチを同一基板の所望の場所に形成できること、DFB-LDの単一縦モード発振に必要な位相シフト構造の導入が容易なことから、2光束干渉露光法に代わる回折格子作製技術として有力とされている。

【0004】 電子ビーム露光により回折格子を形成する際の最大の問題は、ピッチの均一性である。電子ビーム露光装置の試料ステージの移動はレーザ干渉計により制御されているが、この精度は約20nm程度までしか上げられない。このため、回折格子パターンを描画する際は、試料ステージの移動を行わずに、すなわちステージ移動のない状態で、ビームを走査できるフィールド内でパターンを形成する。この際、通常の収束電子ビームを用いる露光装置では、描画速度の向上と位置精度の向上のため、フィールド内の描画位置を決める主偏向器と、個々のパターンを描画するための副偏向器を用い、図5に示すように、描画フィールド1-a内を副偏向器の走査範囲1-b内の区画に分けて露光する。主偏向器は高ビット数で比較的低速で動作するDAコンバータ（デジタル・アナログ変換器）で構成されている。副偏向器は比較的高速で低ビット数のDAコンバータで構成されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このような装置構成では、主偏向器のDAコンバータの高次のビットの切り替え部分のつながりの精度と、主偏向器のDAコンバータと副偏向器のDAコンバータの精度に僅かな差がある。この精度の差は、その露光装置の最小データ単位程度に抑えられており、通常のサブμm領域のパターン形成には大きな影響を与えない。しかしながら、回折格子パターンを描画する際に、回折格子パターン内での位相（ピッチ）の均一性を問題にするような場合は、この僅かな精度の差により、主偏向器のDAコンバータの高次のビットの切り替え部分や、副偏向器走査範囲の境界（図5に示す1-c）において、パターンの位置に僅かなずれが生じ、このため、描画した回折格子パターンにランダムな位相シフト構造が導入される結果になる。このような位相の不均一は、線幅の非常に狭いDFB-LD用回折格子等、非常に高い精度の要求される回折格子の作製において、大きな障害となる。

3

【0006】本発明はこのような課題を解決するためになされたもので、その目的とするところは、電子ビームを露光して回折格子パターンを形成するに際し、その回折格子パターンのピッチの均一性の向上を図り、高精度の回折格子を得ることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】このような目的を達成するために、その第1発明（請求項1に係る発明）は、異なる描画位置座標データを有し実質的に同一のパターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行って、回折格子パターンを形成するようにしたものである。また、その第2発明（請求項2に係る発明）は、異なる副偏向器走査範囲を有し実質的に同一のパターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行って、回折格子パターンを形成するようにしたものである。また、その第3発明（請求項3に係る発明）は、異なる描画位置座標データおよび異なる副偏向器走査範囲を有し実質的に同一のパターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行って、回折格子パターンを形成するようにしたものである。

【0008】

【作用】したがってこの発明によれば、その第1発明では、主偏向器のデジタル・アナログ変換器の高次のビットの切り替え部でのパターンの位置ずれによるピッチのずれを、平均化して、低減することが可能となる。また、その第2発明では、副偏向器走査範囲の境界でのパターンの位置ずれによるピッチのずれを、平均化して、低減することが可能となる。また、その第3発明では、主偏向器のデジタル・アナログ変換器の高次のビットの切り替え部および副偏向器走査範囲の境界でのパターンの位置ずれによるピッチのずれを、平均化して、低減することが可能となる。

【0009】

【実施例】以下、本発明に係る回折格子作製方法を詳細に説明する。

【0010】まず、実施例の説明に入る前に、その概要について説明する。

【0011】例えば、16ビットのDAコンバータを主偏向器として使用し、12ビットのDAコンバータを副偏向器として使用するものとし、データの基本最小単位を $0.025\mu\text{m}$ とする。この際、主偏向器により走査できる範囲は $1638.4\mu\text{m}$ 角であり、副偏向器により走査できる範囲は $102.4\mu\text{m}$ 角である。

【0012】この全範囲を走査可能とした場合、主偏向器のDAコンバータの高次のビットの切り替え部分は、最高次が $819.2\mu\text{m}$ の位置に、15ビット目に対応

4

して $409.6\mu\text{m}$ と $1228.8\mu\text{m}$ の位置に、14ビット目に対応して $204.8\mu\text{m}$ 、 $614.4\mu\text{m}$ 、 $1024.0\mu\text{m}$ 、 $1433.6\mu\text{m}$ の位置に、13ビット目に対応して $102.4\mu\text{m}$ 、 $307.2\mu\text{m}$ 、 $512.0\mu\text{m}$ 、 $716.8\mu\text{m}$ 、 $921.6\mu\text{m}$ 、 $1126.4\mu\text{m}$ 、 $1331.2\mu\text{m}$ の位置に現れる。主要な位置ずれは上記の位置で生じるが、程度の差はあれ、それ以下のビットの切り替え部分でも極微量ながら生じる。

10 【0013】この主偏向器のDAコンバータによる位置ずれを低減させるためには、上記の主要な位置ずれ発生箇所が重ならないように、描画位置座標データを変えて、実質的に同一パターンとなる回折格子描画パターンデータを複数作成し、これら回折格子描画パターンデータによりステージ移動のない状態で重ねて露光を行うことが有効である。

【0014】図1はこのような回折格子描画パターンデータを作成する一例である。すなわち、全体の回折格子パターンの大きさは一定とし、描画位置座標データの開始座標XSをパターン1（図1（a））、パターン2（図1（b））、パターン3（図1（c））でX1、X2、X3と変化させ、同時に、電子ビーム露光データへの変換時のチップサイズを、回折格子パターンの設計長X0にそれぞれX1、X2、X3を加えた値とする。このようにすると、同一図形でありながら、主偏向器のDAコンバータの高次のビットの切り替え位置が、図示破線で代表して示すように変化する。これら3種の回折格子描画パターンデータにより、同じステージ座標で（ステージ移動のない状態で）、重ねて露光を行う。これにより、全く同じ位置に、主偏向器のDAコンバータの高次のビットの切り替え位置が変えられて、回折格子パターンが形成される。

30 【0015】また、副偏向器走査範囲の境界でのパターンの位置ずれを低減するためには、図2に示すように、異なる副偏向器走査範囲3-b（3-b1～3-b3）を有し実質的に同一パターンとなる複数の回折格子描画パターンデータにより、ステージ移動のない状態で重ねて露光を行うことが有効である。但し、この際に、複数の回折格子描画パターンデータは、回折格子パターンの書き始めと書き終わりの部分を除いて、副偏向器走査範囲の境界を共有することがないように、回折格子描画パターンデータ作成時の副偏向器走査範囲を設定する必要がある。なお、図2において、3-c（3-c1～3-c3）は、副偏向器走査範囲の境界である。

【0016】このようにすると、複数の回折格子描画パターンデータの中の1つの副偏向器走査範囲の境界では、その位置に副偏向器走査範囲の境界を持たないパターンと1回以上重ねて露光されるため、描画位置が平均化されて、ずれが大幅に低減する。このような副偏向器走査範囲の境界を共有することのない複数の回折格子描

5

画パターンデータの設計は、描画する回折格子パターンのピッチ方向の副偏向器走査範囲の値を、その値間の最小公倍数に相当する寸法が、回折格子パターンの長さを越えることがないように設定することにより可能となる。

【0017】これらの位置ずれは、電子ビーム露光装置の種類、また、同機種でもDAコンバータの性能の差、調整の違いにより、その大きさが異なる。従って、装置に特徴的に現れるずれの補正を行う必要があるが、以上の2種の低減方法を併せて実行することにより、上記の位置ずれを同時に軽減することが可能である。すなわち、異なる描画位置座標データを有し、かつ、異なる副偏向器走査範囲を有する、実質的に同一のパターンとなる複数の回折格子描画パターンデータにより、ステージ移動のない状態で重ねて露光を行うことにより、位相すなわちピッチの揃った均一な回折格子パターンを電子ビーム露光により形成することができる。

【0018】なお、上述において、異なる回折格子描画パターンデータによる露光の重ね回数は、多い方がピッチの均一性が向上するが、重ね回数の増加に伴い露光に要する時間（主に、データ処理時間）が増加し、また、作成するデータファイル数も増加するので、3～5回程度が最適であるが、2回でもある程度の効果が得られる。

【0019】以下、具体的な実施例により、本発明を詳細に説明する。

【0020】実施例1

電子ビーム露光装置として、JBX-5FE（日本電子製）を用いて、回折格子を作製する例を述べる。上記装置は、16ビットの主偏向器と、12ビットの副偏向器とを備えている。データの基本最小単位は0.025 μ mで、主偏向器により走査できる範囲は1600 μ m角である。この中を、最大100 μ m、最小25 μ mの範囲を副偏向器により走査して、回折格子パターンを描画する。回折格子パターンのピッチは、0.025 μ mの基本最小単位の整数倍で設計し、偏向振幅を微調整することにより、所望のピッチとする。本実施例では、0.24 μ mピッチで、長さ1500 μ m（走査座標のx方向とする）、幅100 μ m（走査座標のy方向とする）の回折格子パターンを描画する。

【0021】まず、0.25 μ m（0.025 μ mの10ポイント分）ピッチで、0.1 μ m露光部、0.15 μ m未露光部とし、フィールドサイズを1562.5 μ mとする。主偏向器の高次のビットの切り替え時の位置を変化させるため、回折格子パターンの書き始めのX座標を0ポイント（図3（a）：パターン11、設計座標値0 μ m）、200ポイント（図3（b）：パターン21、設計座標値5 μ m）、300ポイント（図3（c）：パターン31、設計座標値7.5 μ m）とした3種のパターンを設計し、チップサイズとフィールドサ

6

イズと共に、パターン11では1562.5 μ m、パターン21では1567.5 μ m、パターン31では1570 μ mとして、電子ビーム露光用データに変換する。この場合、最高次のDAコンバータの切り替え位置は、フィールドサイズの中点にくるので、パターン11では781.25 μ m（31250ポイント）、パターン21では783.75 μ m（31350ポイント）、パターン31では785 μ m（31400ポイント）になる。なお、この場合、副偏向器の走査範囲はx方向25 μ m、y方向100 μ mで、共通にする。このように開始点のずれをチップサイズで補償することにより、パターン11、21、31の回折格子描画パターンデータは、異なる描画位置座標データを有し実質的に同一のパターンとなる。

【0022】露光用の試料としては、InGaAsP 光ガイド層を有するInP基板上に、ポジ型電子ビームレジスト（ZEP-520：日本ゼオン製）を0.15 μ m塗布したものを用いる。

【0023】まず、偏向振幅を96%に調整し、ピッチを0.24 μ mとして、加速電圧25KV、電流値500pAの電子ビームによりレジスト感度21 μ C/cm²で、上記パターン11を描画する。続いて、異なるステージ位置で、上記パターン11、21、31の3種の回折格子描画パターンデータにより、それぞれレジスト感度7 μ C/cm²でステージ移動のない状態で重ねて露光を行う。

【0024】上記の試料を、キシレンを用いて3分間現像し、得られた回折格子パターンをノマルスキー微分干渉光学顕微鏡で観測する。

【0025】この結果、パターン11のみで露光した回折格子パターンには、回折格子パターンの中心である約750 μ mの位置に明確な線が観測され、更に、これより200 μ mおきに両側に、先の線よりコントラストは低いものの線が見られた。これらは、14ビット目以上の主偏向器のDAコンバータの切り替え位置に相当しており、明らかに、この位置で回折格子パターンの位相がずれていることを示している。更に、この回折格子パターンを走査電子顕微鏡で観察した結果、中心の750 μ mの位置ではピッチのずれが約0.02 μ m程度で、その他の線に相当する部分では約0.01 μ m弱のピッチのずれがあることが明らかになった。

【0026】一方、パターン11、21、31の3種の回折格子描画パターンデータにより重ねて露光を行った回折格子パターンでは、ノマルスキー微分干渉光学顕微鏡で観測した結果、先に見られた箇所での明瞭な位置ずれに相当する線は観測されなかった。この結果は、図3（d）に示すパターン32のように、主偏向器のDAコンバータの高次のビットの切り替え位置での位相のずれが、異なる描画位置座標データの回折格子パターンと重ねて露光されているために平均化され、観測可能な範囲

7

以下に低減されていることを示している。

【0027】但し、これらの試料では、開始点より25 μm おきに、薄い線がノマルスキー微分干渉光学顕微鏡で観測されている。これは、データ変換時の副偏向器走査範囲である25 μm に相当し、副偏向器走査範囲の境界で、回折格子パターンの位相がずれていることを示している。

【0028】実施例2

実施例1と同様に、長さ1500 μm （走査座標のx方向とする）、幅100 μm （走査座標のy方向とする）の回折格子パターンを描画する。

【0029】まず、0.25 μm （0.025 μm の10ポイント分）ピッチで、0.1 μm 露光部、0.15 μm 未露光部とし、フィールドサイズを1562.5 μm とする。副偏向器走査範囲を、y方向を100 μm と一定にし、x方向を79 μm （図4（a）：パターン41）、83 μm （図4（b）：パターン51）、89 μm （図4（c）：パターン61）とした3種のパターンを設計し、電子ビーム露光用データに変換する。79 μm 、83 μm 、89 μm の3種では、そのどの2つの最小公倍数をとっても回折格子パターンの長さ1500 μm を越えるため、副偏向器走査範囲の境界を共有することは有り得ない。

【0030】露光用の試料としては、InGaAsP 光ガイド層を有するInP基板上に、ポジ型電子ビームレジスト（ZEP-520：日本ゼオン製）を0.15 μm 塗布したものを用いる。まず、偏向振幅を96%に調整して、ピッチを0.24 μm として、加速電圧25KV、電流値2nAの電子ビームによりレジスト感度21 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ で、上記パターン41を描画する。続いて、異なるステージ位置で、上記パターン41、51、61の3種の回折格子描画パターンデータにより、それぞれレジスト感度7 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ でステージ移動のない状態で重ねて露光を行う。

【0031】上記の試料を、キシレンを用いて3分間現像し、得られた回折格子パターンをノマルスキー微分干渉光学顕微鏡で観測する。

【0032】この結果、パターン41のみで露光した回折格子パターンには、約76 μm おきに規則的に明確な線が観測された。これは、79 μm の副偏向器走査範囲を偏向振幅96%で描画する際の副偏向器走査範囲75.84 μm に相当し、明らかに、副偏向器走査範囲間の境界で回折格子パターンの位相がずれていることを示している。更に、この回折格子パターンを走査電子顕微鏡で観察した結果、副偏向器走査範囲間の境界でのピッチのずれが約0.015 μm 程度であることが明らかになった。

【0033】一方、パターン41、51、61の3種の回折格子描画パターンデータにより重ねて露光を行った回折格子パターンでは、ノマルスキー微分干渉光学顕微

8

鏡で観測した結果、上記のような副偏向器走査範囲に相当する規則的位相のずれを示すような明確な線は観測されなかった。また、このパターンの76 μm 近辺を走査電子顕微鏡で観察した結果、有意なピッチのずれは観測されなかった。この結果は、図4（d）に示すパターン71のように、副偏向器走査範囲の境界に相当するずれが、異なる範囲の回折格子パターンと重ねて露光されているために平均化され、観測可能な範囲以下に低減されていることを示している。

【0034】但し、これらの回折格子パターンでは、ノマルスキー微分干渉光学顕微鏡で、回折格子パターンの中心である約750 μm の位置に明確な線が観測され、更に、これより200 μm おきに両側に、先の線よりコントラストは低いものの線が見られた。これらは、14ビット目以上の主偏向器のDAコンバータの高次のビット切り替え位置に相当しており、明らかに、この位置で回折格子パターンの位相がずれていることを示している。

【0035】実施例3

実施例1と同様に、長さ1500 μm （走査座標のx方向とする）、幅100 μm （走査座標のy方向とする）の回折格子パターンを描画する。

【0036】まず、0.25 μm （0.025 μm の10ポイント分）ピッチで、0.1 μm 露光部、0.15 μm 未露光部とし、フィールドサイズを1562.5 μm とする。回折格子パターンの書き始めのX座標を0ポイント（パターンA：設計座標値0 μm ）、200ポイント（パターンB：設計座標値5 μm ）、300ポイント（パターンC：設計座標値7.5 μm ）とした3種の回折格子描画パターンデータを設計する。パターンA、B、Cを電子ビーム露光用データに変換する際に、チップサイズを、各々、1562.5 μm 、1567.5 μm 、1570 μm とし、同時に副偏向器走査範囲を、y方向は100 μm 一定とし、x方向を73 μm 、89 μm 、97 μm と変える。73 μm 、89 μm 、97 μm の3種では、そのどの2つの最小公倍数をとっても回折格子パターンの長さ1500 μm を越えるため、副偏向器走査範囲の境界を共有することは有り得ない。

【0037】露光用の試料としては、InGaAsP 光ガイド層を有するInP基板上に、ポジ型電子ビームレジスト（ZEP-520：日本ゼオン製）を0.15 μm 塗布したものを用いる。偏向振幅を96%に調整し、ピッチを0.24 μm として、加速電圧25KVで上記パターンA、B、Cの3種の回折格子描画パターンデータにより、それぞれレジスト感度7 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ でステージ移動のない状態で重ねて露光を行う。

【0038】上記の試料を、キシレンを用いて3分間現像し、得られた回折格子パターンをノマルスキー微分干渉光学顕微鏡で観測する。

【0039】この結果、実施例1、2で見られたような

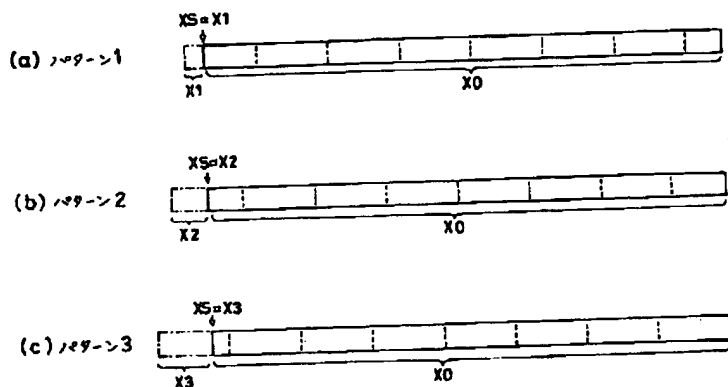
9

回折格子パターンの不連続を示すような線は全く見あらず、また、走査電子顕微鏡で観察しても、ピッチのずれている箇所を見いだすことはできなかった。

【0040】

【発明の効果】以上説明したことから明らかなように本発明によれば、その第1発明では、主偏向器のデジタル・アナログ変換器の高次のビットの切り替え部でのパターンの位置ずれによるピッチのずれを平均化して低減することが可能となり、またその第2発明では、副偏向器走査範囲の境界でのパターンの位置ずれによるピッチのずれを平均化して低減することが可能となり、またその第3発明では、主偏向器のデジタル・アナログ変換器の高次のビットの切り替え部および副偏向器走査範囲の境界でのパターンの位置ずれによるピッチのずれを平均化して低減することが可能となり、電子ビームを露光して回折格子パターンを形成するに際し、その回折格子パターンのピッチの均一性の向上を図り、高精度の回折格子を得ることができ、特に、線幅の狭い単一モード半導体レーザの実現に有効となることが期待される。

【図1】



10

【図面の簡単な説明】

【図1】異なる描画位置座標データを有し実質的に同一のパターンとなる複数の回折格子描画パターンデータを用いて回折格子パターンを形成する方法を説明する図。

【図2】異なる副偏向器走査範囲を有し実質的に同一のパターンとなる複数の回折格子描画パターンデータを用いて回折格子パターンを形成する方法を説明する図。

【図3】実施例1を説明する図。

【図4】実施例2を説明する図。

10 【図5】描画フィールド内を副偏向器の走査範囲内の区画に分けて露光する状況を示す図。

【符号の説明】

1-a 描画フィールド

1-b 副偏向器走査範囲

1-c 副偏向器走査範囲の境界

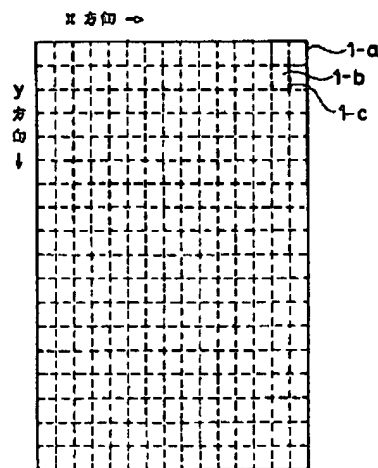
X S 描画位置座標データの開始座標

X 0 回折格子パターンの設計長

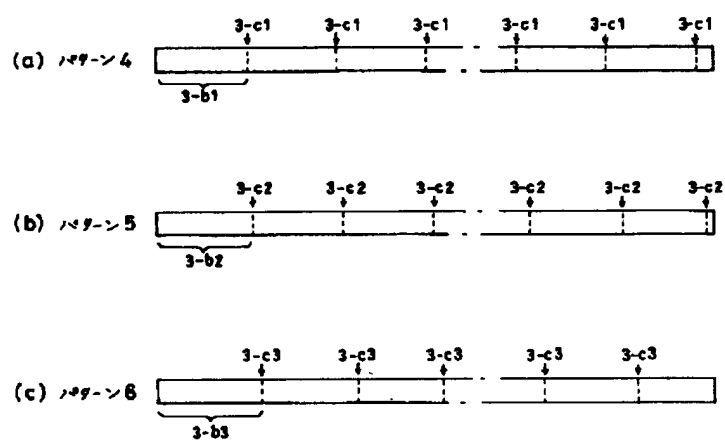
3-b 副偏向器走査範囲

3-c 副偏向器走査範囲の境界

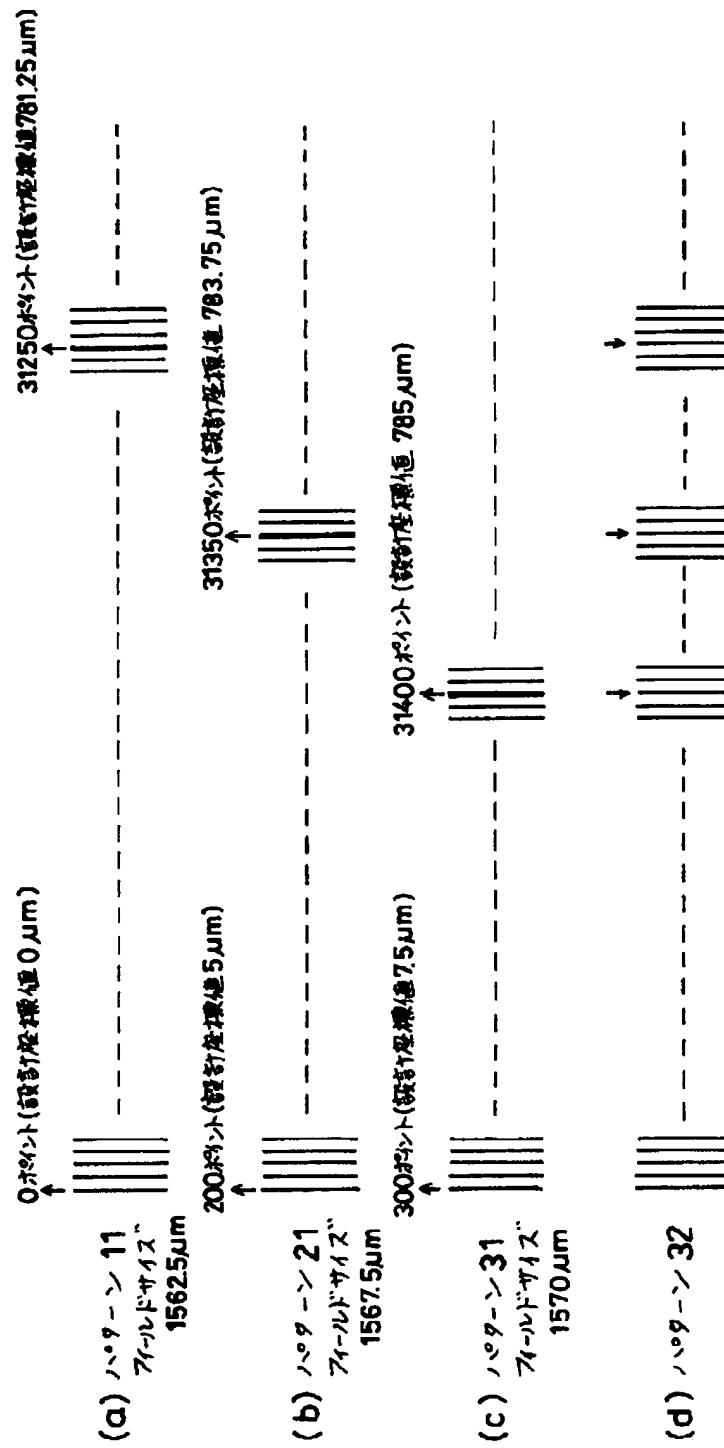
【図5】



【図2】



【図3】



【図4】

